室蘭工業大学
学術資源アーカイブ
Muroran Institute of Technology Academic Resources Archive

積雪寒冷地域における道路構造物の高度化・長寿命化に関する研究 (共同研究プロジェクト成果)

メタデータ	言語: jpn
	出版者: 室蘭工業大学地域共同研究開発センター
	公開日: 2016-11-21
	キーワード (Ja):
	キーワード (En):
	作成者: 川瀬, 良司, 小室, 雅人, 岸, 徳光, 栗橋, 祐介
	メールアドレス:
	所属:
URL	http://hdl.handle.net/10258/00009039

積雪寒冷地域における道路構造物の高度化・長寿命化に関する研究

川瀬　良司*1，小室　雅人*2，岸　徳光*3，栗橋　祐介*2

1　はじめに

我が国では，高度経済成長期に数多くの道路橋が建設されており，今後建設後 50 年以上経過した橋梁は急激に増大する．図 1 には橋梁の建設後の経過年数とその個数の関係を示している [1]．これらの橋梁を健全な状態に維持管理していくためには，合理的な劣化診断技術や補強・補修工法等を確立することが極めて重要である．このような状況の中，近年，道路橋の鉄筋コンクリート（RC）床版に写真 1 に示すような砂利化や抜け落ち等の劣化損傷が報告されている．一般には，このような損傷対策として床版の部分補修や全面打換えが行われている [2]．

国道等の主要幹線道路の場合には，一般に全面通行止めをすることは困難であり，全面打換えを行うためには，新設時と異なり片側交互通行状態での工事となる．この場合，一時的に片側の床版が撤去された状態となることから，施工段階ごとの安全性が要求される．特に，3 主桁から構成される橋梁の場合には，主桁間の一体性が大きく損なわれるために縦桁や横桁などを増設して荷重分担を向上させる必要があり，床版打換え前後で振動特性が異なることが予想される．したがって，今後増加することが予想される既設橋梁の床版打換え作業を想定すると，合理的な床版打換え工法の確立は勿論のこと，床版打換え前後の振動特性を把握しておくことは，橋梁を維持管理する上で重要であるものと判断される．

このような背景より，本研究では，既設鋼 3 主桁

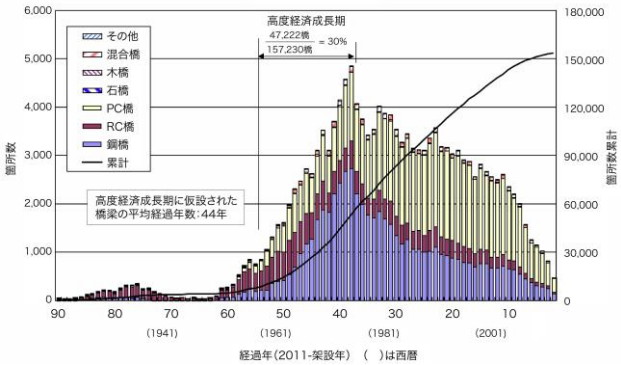


図 1　橋梁の架設年度分布 [1]

(a)　砂利化

(b)　抜け落ち

写真 1　床版の劣化状況

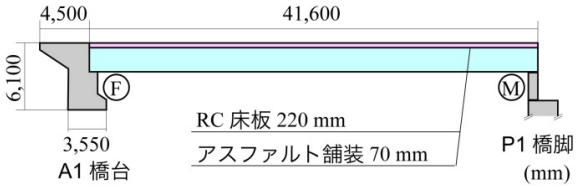
*1：（株）構研エンジニアリング
*2：くらし環境系領域　社会基盤ユニット
*3：釧路工業高等専門学校

表 1　日高大橋の橋梁諸元

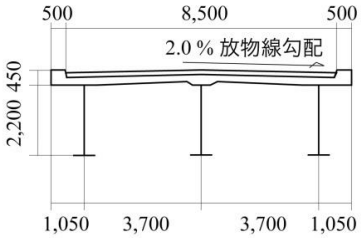
路線	一般国道 237 号
支間	41.6m+72.8m+20.0m
形式	単純合成桁，3 弦トラス
幅員	8.5m
完成	昭和 46 年（1971 年）

写真 2　橋梁全景

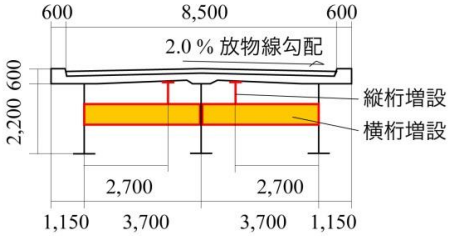
写真 3　床版の部分補修状況



(a)　側面図



(b)　断面図（床版打換え前）



(c)　断面図（床版打換え後）

図 2　一般図

橋を対象に，床版の片側撤去などの各施工段階を考慮した三次元有限要素解析を実施し，RC 床版の合理的かつ安全な打換え工法を提案した．また，実際に床版打換えが行われた既設の鋼合成桁橋を対象に，打換え前後における橋梁の固有振動特性を評価することにより，その剛性向上効果について実験的に検討を行った．なお，各施工段階における固有振動特性は車両走行後における橋梁の自由振動を計測することにより評価している．

2　対象橋梁および施工手順

2.1　日高大橋

本研究で対象とした橋梁は，一般国道 237 号線に架かる日高大橋（橋長 137m）である．この橋梁は表 1 に示すように単純合成桁橋と 3 弦トラス橋から構成されており，昭和 46 年に竣工された．床版打換え工事は，そのうちの第一支間部に架かる単純合成桁橋（橋長 41.6 m）を対象に，著者らの提案した施工計画に基づき実施している．図 2 には，対象橋梁の一般図を示している．支承条件は，A1 橋台が固定支承，P1 橋脚が可動支承である．写真 2 には橋梁の全景を示している．

本橋梁は，昭和 46 年に竣工されており，これまでにも写真 3 に示すような床版劣化による部分補修が実施されている．また，図 2(b）からも分かるように 3 主桁で構成されていることより荷重分担性が悪くなるため，片側交互通行状態での床版打換えは不可能な構造となっている．そのため，床版打換え時には，図 2(c)に示すように各主桁の間に新たに 2 本の縦桁を増設し，さらにそれらを支えるための横桁を 46 本増設している．これらの部材は過度な熱応力が発生しないようにするために，全てボルト接合することとしている．なお，床版打換え後は，幅員および床版厚，舗装厚に変更はないものの，地覆部が若干大きくなっている．

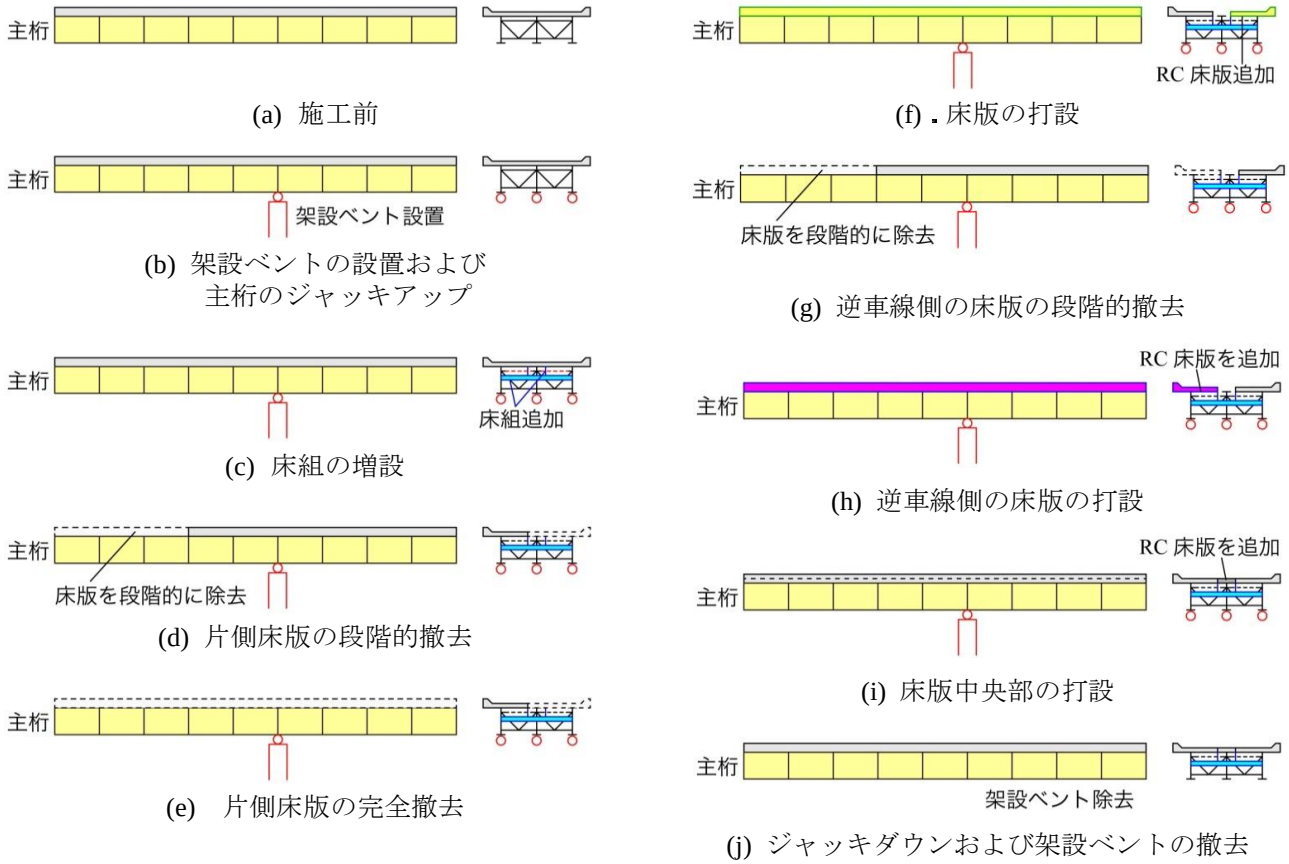


図 4　床版打換えの施工手順

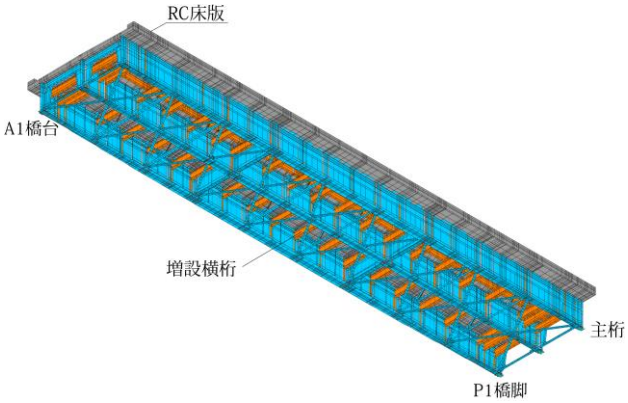


図 3　施工計画立案のための有限要素モデルの一例（床版打換え後）

写真 4　ジャッキアップ用架設ベントの設置状況

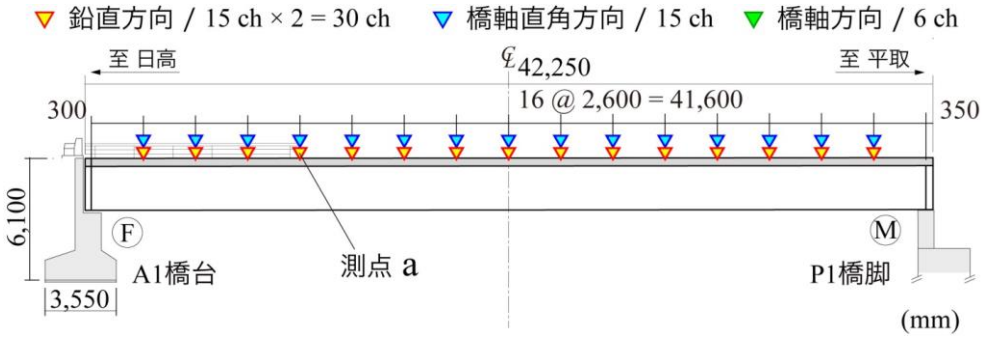
2.2　施工手順

床版打換え工事を安全に行うために，床版の打換え手順や補強のための添加材の大きさや配置については，設計図書を参考に詳細な有限要素モデルを構築し，想定する施工手順を忠実に再現した数値解析を実施し，施工計画を立案した．図 3 には解析に用いた一例として，床版打換え後の要素分割状況を示している．なお，紙面の都合上，それらの詳細は省略するが，床版打換えに関する実際の施工手順を簡潔に述べると，以下のとおりである（図 4 参照）．

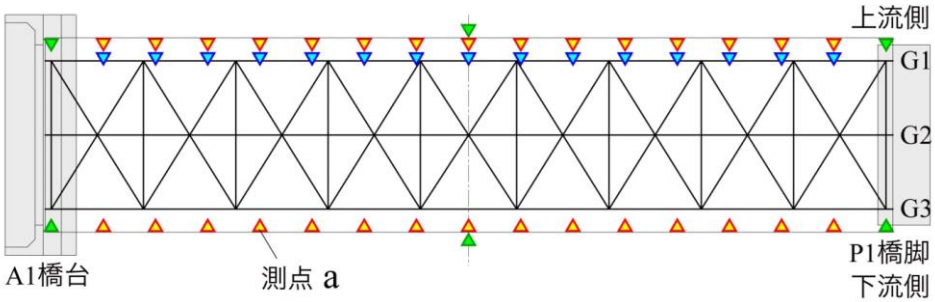
1)　床版の部分撤去に伴う不安定状態を避けるために写真 4 に示すように所定の位置に架設ベント

写真 5　床組増設状況

写真 6　片側床版の完全撤去状況



(a) 側面図



(b) 平面図

図 5　振動計の配置図

を設置し，ジャッキアップを行うことにより連続桁の状態にする（b 図）

2) 写真 5 のように増設する縦桁が両端部まで連続するように上弦材を切断し，所定の位置に床組（横桁および縦桁）を設置する（c 図）
3) 片側の床版を段階的に撤去し，写真 6 のように全ての片側の床版が撤去された後に新しい床版を打設する（d~f 図）.
4) 反対側の床版に関しても 3)と同様に床版を打換える（g, h 図）.
5) 中央部の床版を打設する（i 図）
6) 床版打換え後，ジャッキを開放し架設ベントを撤去する（j 図）.

なお，実際の振動実験は，床版打換え前と打換え後の他に，片側車線の床版のみがある状態の計 4 回実施しているが，ここでは紙面の都合上，床版打換え前後の結果について考察を行う.

3　振動実験の概要

3.1　振動計の配置

本実験では，可能な限り精度よく振動特性を把握するために，図 5 に示すようにサーボ型振動計を橋梁各点に設置した．すなわち，曲げ振動モードやねじり振動モードを特定するために，上・下流側の地覆部に全 30 点（片側 15 点）の振動計（感度方向：

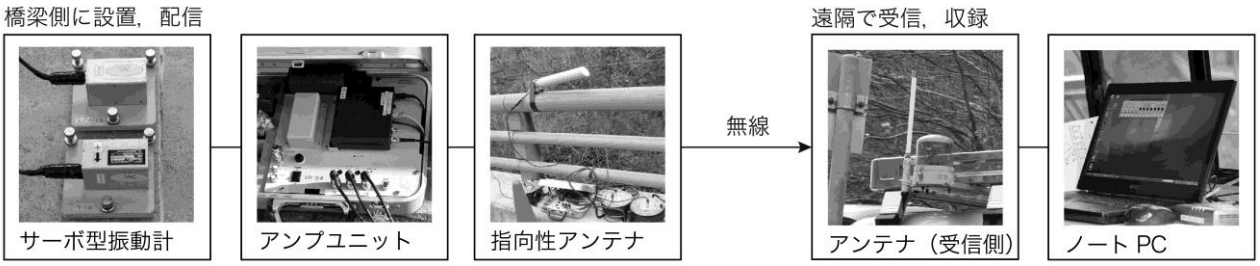
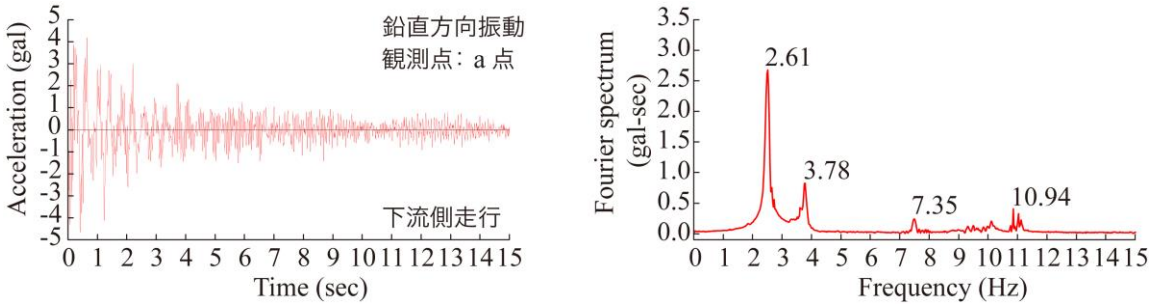
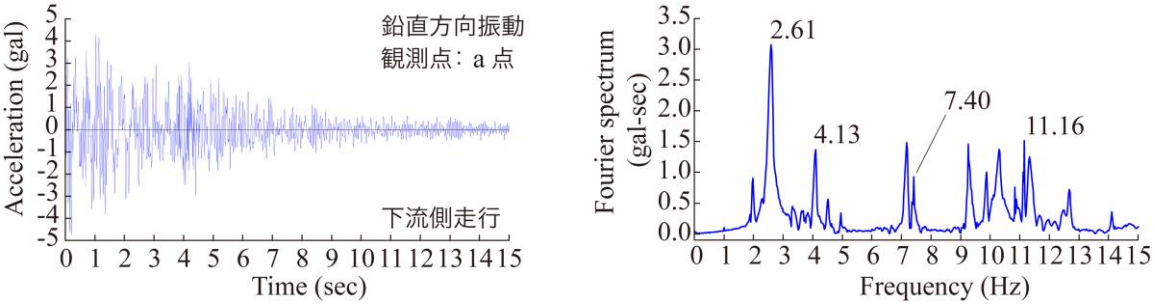


写真 7　計測システム



(a) 床版打換え前



(b) 床版打換え後

図 6　計測波形とフーリエスペクトルの一例

鉛直方向）を設置した．また，橋軸直角方向の振動モードを特定するために，上流側に 15 点の振動計を設置した．さらに，橋軸方向の振動特性を把握するために桁端部およびスパン中央に計 6 点の振動計（感度方向：橋軸方向）を設置した．

3.2　計測システム

写真 7 には，本計測システムの概要を示している．全てのサーボ型振動計からの加速度出力は，専用のアンプユニットを介して送信用の指向性アンテナから受信用アンテナに無線によって送信され，収録用 PC にて一括収録している．なお，計測のサンプリング間隔は 5 ms である．本実験では，大型車両走行後の自由振動状態における加速度データを収録した．

3.3　固有振動数の決定方法

実測加速度波形を用いた固有振動モードおよび固有振動数の決定方法は，既往の論文 [3), 4)]を参考に，以下の過程に基づいて実施した．すなわち，

1) 大型車両通過後の自由振動状態における全加速度波形を収録する．
2) 全測点の収録波形に関する 40.96 秒間について FFT 処理を施し，フーリエスペクトルを求める．
3) 後述の図 6 に示すように主要な測点において計測された応答波形のフーリエスペクトルから固有振動数と考えられる卓越振動数を抽出する．
4) 固有振動モードを求めるために，3)で求めた各測点における卓越振動数近傍のフーリエスペクトル，位相スペクトル分布を用いて波形を生成する．

表 2　床版打換えにおける固有振動数の比較

振動モード		固有振動数（Hz）	
		床版 打換え前 f_b	床版 打換え後 f_a
1	曲げ 1 次	2.61	2.61
2	ねじり 1 次	3.78	4.13
3	曲げ 2 次	7.35	7.40
4	ねじり 2 次	10.94	11.16

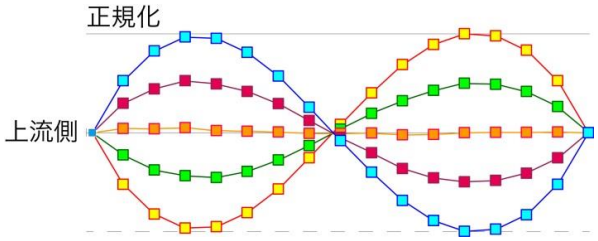


図 7　特定された振動モードの一例
（曲げ 2 次振動モード）

5)　4)で求められた各測点の加速度波形について，振幅の大きい測点の波形を基準にして 1/4 周期毎に各測点の振幅値を用いて振動モードを求め，モードの節および腹の位置が各振動で移動せず，振動モードが連成していないことを確認し，固有振動モードを決定する（後述，図 7 参照）．

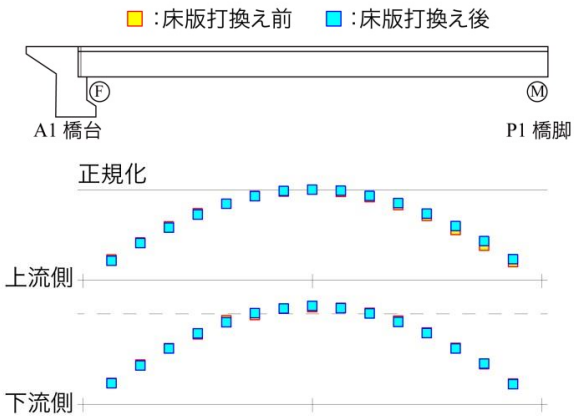
4　実験結果および考察

4.1　計測加速度波形とフーリエスペクトル

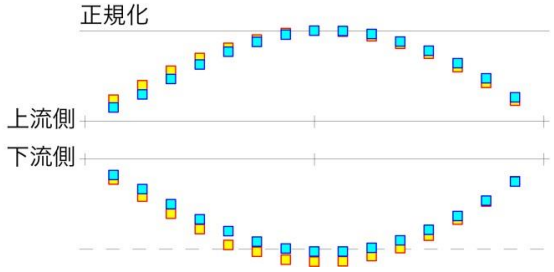
図 6 には，床版打換え前後における実験結果の一例として大型車両通行後に測点 a（図 5 参照）で計測された 15 秒間の加速度波形とその加速度波形から求められたフーリエスペクトルを比較して示している．なお，スペクトル解析には 8,192 個のデータ（40.96 秒間）を用いている．

図より，床版打換え前後にかかわらず，上部工の鉛直方向加速度は最大 4 gal 程度であることが分かる．また，加速度波形から得られたフーリエスペクトルには，複数の卓越振動数が存在することが分かる．なお，床版打換え後には振動数が高い領域において幾つかの卓越振動数が確認されるが，この要因は特定できておらず，今後更なる検討が必要である．

図 6 に示すフーリエスペクトルの卓越振動数を参考に，前述の方法（3.3 節）によって固有振動モード



(a) 曲げ 1 次振動モード
（f_b＝2.61Hz，f_a＝2.61Hz）



(b) ねじり 1 次振動モード
（f_b＝3.78Hz，f_a＝4.13Hz）

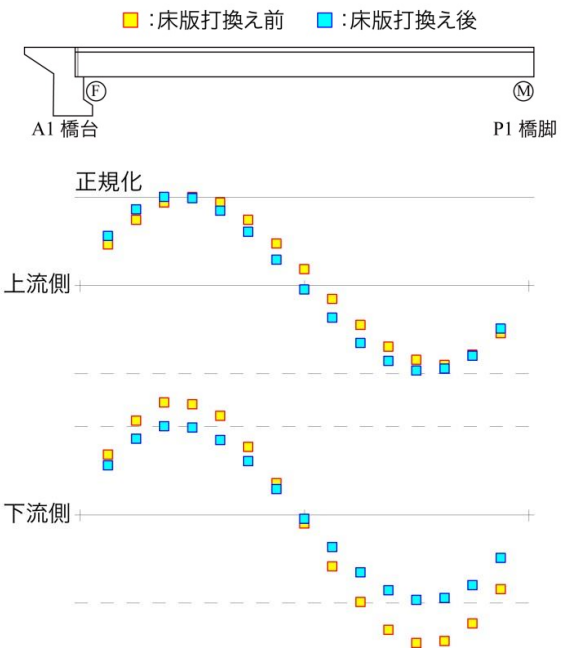
図 8　振動モード分布の比較

の特定を行った．図 7 には特定された振動モードの一例として床版打換え後の曲げ 2 次振動モード（f_a= 7.40 Hz）の結果を示している．図より明瞭な振動モードが得られていることが分かる．表 2 には，床版打換え前後において特定された各振動モードとそれに対応する固有振動数を一覧にして示している．なお，橋軸および橋軸直角方向の振動に関しては，いずれも鉛直振動と比較して小さいことを確認している．

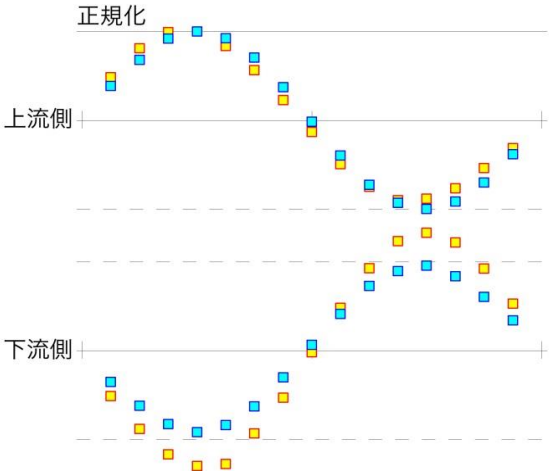
4.2　振動モード分布

図 8 には，床版打換え前後の振動実験から特定された各固有振動モード分布を比較して示している．なお，全ての振動モードは上流側の最大加速度が 1 となるように正規化している．また，図中の実線は，基準となる上流側の正規化振幅を示している．

まず，曲げ 1 次振動モードに着目する．表 2 および図 8(a)より，曲げ 1 次振動モードは，床版打換え前後において固有振動数に顕著な差は生じておらず，また，床版打換え前後の振動モード分布に関しても，両者の振幅に差がないことが分かる．前述のように



(c) 曲げ 2 次振動モード
（f_b＝7.35Hz，f_a＝7.40Hz）



（d）ねじり 2 次振動モード
（f_b＝10.94Hz，f_a＝11.16Hz）

図 8　振動モード分布の比較(続き)

床版打換え時には床組（縦桁および横桁）を増設しており，その重量は約 24.6 tf である．増設前の橋全体の重量は約 344 tf であることより，床組の増設によって自重は約 7.2 % 増加していることになる．しかしながら，実験結果をみると固有振動数に顕著な差がない．これは，床組増設による剛性向上分と自重増分によって固有振動への影響が相殺されたことによるものと推察される．

次に，ねじり 1 次振動モードの床版打換え前後の固有振動数を比較すると，床版打換後には，床版打換え前よりも 0.35Hz ほど固有振動数が大きくなっていることが分かる．また，図 8(b)の床版打換え前後の振動モード分布を比較しても，床版打換え後の振幅は，床版打換え前のそれよりも小さい．これは床版打換えによる床版の曲げ剛性の向上および横桁を増設したことによるねじり剛性の向上によるものと推察される．

曲げ 2 次振動モードの床版打換え前後の固有振動数を比較すると，床版打換え後の振動数は，ねじり 1 次振動モード同様に床版打換え前よりも若干大きくなっていることが分かる．また，図 8(c)に示す振動モードに着目すると，床版打換え前では，上流側のスパン中央点が上側にずれていることや下流側の振幅が上流側と比較して大きくなっているのに対して，床版打換え後では上・下流側ともに類似の振動モードに改善されていることが分かる．これは，床版打換えによる効果や床組増設による補強効果によるものと推察される．

最後に，図 8(d)に示すねじり 2 次振動モードに着目すると，ねじり 1 次振動モードの場合と同様の傾向が見られ，床版打換え後では上・下流側でほぼ対称な振動モードに改善されていることが確認される．

以上より，床版打換え後の固有振動数は床版打換え前と比較して若干大きいこと，また，振動モード分布は，上・下流側でほぼ対称な振動モードに改善されていることを確認した．これは，縦桁や横桁の増設および床版の打換えによって，曲げ剛性とともに各主桁間の荷重分担性も大幅に改善したことを示唆している．

5　まとめ

本研究では，既設鋼 3 主桁を対象に RC 床版の合理的かつ安全な打換え工法を提案するとともに，床版打換え前後における橋梁の固有振動特性を比較することにより，その剛性向上効果について実験的に検討した．得られた結果を整理すると，以下のようになる．

1) 既設 3 主桁橋梁の床版打換えに関して，数値解析による施工シミュレーションを行うことによって，全面通行止めをすることなく片側交互通行状態で効率よくかつ安全に施工するための計画を立案することができた．特に新設する縦桁を連続化するために，上弦材を切断する工法を提案し，数値解析的に安全性を確認した．

2) 車両走行後の振動計測より，床版打換え後における固有振動数は，打換え前に比べて若干大きくなることを確認し，曲げ剛性が向上したことを確認できた．
3) 床版打換え後では，上・下流側でほぼ対称な振動モードに改善されていることより，今回の床版打換えや床組の増設によって，主桁の荷重分担性が大幅に向上したものと判断される．

今後は，支承部のモデル化なども含めた橋梁全体系に関する数値解析を実施し，実験結果の妥当性の検証を行うとともに，床版剛性や床組の影響等についてさらなる検討を行う予定である．

謝辞

本実験を遂行するにあたり，国土交通省北海道開発局室蘭開発建設部日高道路事務所には多大なご協力頂いた．また，現地計測の実施にあたり，（株）小林組のご協力を頂いた．関係各位に深く感謝の意を表する．

文献

1) 玉越 隆史・大久保 雅憲・横井 芳輝：平成 23 年度道路構造物に関する基本データ集, 国土技術政策総合研究所資料, No.693, 2012.
2) 國松 博一，山谷 直孝，澤松 俊寿：一般国道 275 号志寸川橋の床版陥没について―陥没の発生から復旧まで―，国土交通省北海道開発局第 56 回（平成 24 年度）北海道開発技術研究発表会，2013.
3) 新山 惇，佐藤 昌志，小室 雅人，岸 徳光：供用後 27 年経過した三径間連続鋼床版斜張橋の自由振動特性, 土木学会, 構造工学論文集, Vol. 47A, pp. 1093-1102, 2001.
4) 西 弘明，佐藤 京，小室 雅人，岸 徳光：供用後 73 年経過した旭橋の固有振動特性評価に関する一検討, 鋼構造年次論文報告集，第 15 号, pp. 269-276, 2007.